



А. меркулов
**УКРОЩЕННЫЙ
СМЕРЧ**

Кандидат технических наук
А. П. МЕРКУЛОВ

УКРОЩЕННЫЙ СМЕРЧ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Всесоюзного общества по распространению
политических и научных знаний

Москва 1963

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Капельки на кинжале джигита	3
Вихревая труба	5
В камере идет снег	9
Как они перенесут перемену климата?	15
Работает «Вихрь»	20
Вихрь-мельник	25
Вихревой гигрометр	26
Вихревой осушитель-пистолет	29

КАПЕЛЬКИ НА КИНЖАЛЕ ДЖИГИТА

Кто не слышал о губительной силе смерчей? Это они, проносясь по безбрежным просторам пустынь и океанов, вырывают, как сказочные богатыри, с корнем могучие деревья, разрушают дома, поднимают тонны песка или воды на огромную высоту. Недаром с давних пор люди боялись этой страшной силы и слагали о ней легенды.

Люди издавна заметили и еще одно странное свойство смерча, приписывая ему сверхъестественное начало. На это свойство указывает существовавшее в Средней Азии поверье: если храбрый джигит сумеет подойти близко к смерчу и бросить в него кинжал, то смерч разрушится или уйдет, а на кинжале останутся капельки росы — капельки крови дьявола.

Метеорологи долгое время не могли объяснить причину заметного понижения температуры при циклонах — своеобразных смерчах, менее сильных, но охватывающих большую область земной поверхности. Разгадка странных свойств вихрей неожиданно пришла к французскому инженеру-металлургу Жозефу Ранку.

В 1931 году, измеряя температуру воздуха в циклонном пылеуловителе, Ранк заметил, что в центре вихря температура заметно ниже, чем у стенок. Заинтересовавшись этим, Ранк создал более сильный вихрь в небольшой трубе и получил довольно большую разность температур между центральными и периферийными слоями вихря. Вот почему остывает кинжал джигита: в центре смерча температура воздуха гораздо ниже. От соприкосновения с теплым воздухом после разрушения смерча кинжал запотеваает, подобно тому как запотевают металлические предметы, внесенные с мороза в теплую комнату.

Открытие Ранка долгое время оставалось забытым, пока в 1945 году немецкий ученый Рудольф Хилш не провел серии экспериментов с трубами различных диаметров и конфигураций.

После опубликования работы Хилша вихревой эффект

(называемый также эффектом Ранка) стал известен всему миру. Устройство, в котором этот эффект воспроизводится, стали называть вихревой трубой, трубой Ранка, вихревым холодильником, или вихревым энергоразделителем.

В Советском Союзе большая работа по исследованию вихревого эффекта ведется в Одесском холодильном, Куйбышевском авиационном и других институтах и лабораториях. Независимо от Ранка в 1945 году советский инженер, ныне доктор технических наук М. Г. Дубинский создал вихревой вакуум-насос, принципиально очень схожий с трубой Ранка. У этого вакуум-насоса он обнаружил свойство разделять воздух на холодный и горячий, т. е. эффект Ранка.

Отчего же происходит в вихре разделение воздуха?

Этот вопрос до сих пор не вполне ясен. Правда, после тщательных математических и экспериментальных исследований ученые пришли почти к единодушному выводу о природе вихревого эффекта. Он объясняется гипотезой радиальных потоков энергии. Втекая внутрь гладкой цилиндрической трубы через тангенциальное сопло, закрученный воздух стремится распространиться по всему сечению, но при переходе с большего радиуса на меньший, согласно закону сохранения момента количества движения, окружная (тангенциальная) скорость его должна возрасти так, чтобы ее произведение на радиус осталось неизменным. Этот закон часто используют балерины и фигуристы-конькобежцы: раскрутившись с откинутыми руками, они поджимают руки к туловищу (уменьшают радиус вращения центра тяжести рук) и тем самым значительно увеличивают скорость своего вращения.

Значит, чем ближе к центру трубы будет перемещаться струйка воздуха, тем больше будет ее окружная скорость. Температура в струйке при этом будет все время уменьшаться, так как все большую часть своей тепловой энергии она будет преобразовывать в энергию движения.

Таким образом, каждая струйка по сравнению с соседней, вращающейся на меньшем градусе, будет иметь меньшую окружную скорость и более высокую температуру.

Поскольку воздух, как и всякий газ, обладает вязкостью, то каждая струйка будет тормозить соседнюю, вращающуюся на меньшем радиусе, и отнимать от нее энергию движения — кинетическую энергию. Вследствие этого в вихревом потоке произойдет передача кинетической энергии от оси к периферии. В то же время из-за снижения температуры струек по направлению к оси будет наблюдаться передача тепла за счет теплопроводности воздуха.

Но передача кинетической энергии от оси к периферии происходит значительно быстрее, чем передача тепла в обратную сторону, поэтому осевые слои вихря интенсивно охлаждаются, а периферийные — подогреваются.

Отводом осевых слоев через расположенное на оси вихря отверстие, а периферийных — через кольцевую периферийную щель и осуществляется в вихревой трубе разделение воздуха на холодный и горячий.

ВИХРЕВАЯ ТРУБА

Изображенная на рис. 1 вихревая труба представляет собой гладкую цилиндрическую трубу 1, с одного конца которой установлено тангенциальное сопло 2 с входной улиткой 3. Конец трубы у соплового входа закрыт диафрагмой с центральным отверстием. На противоположном конце трубы установлен кран 5.

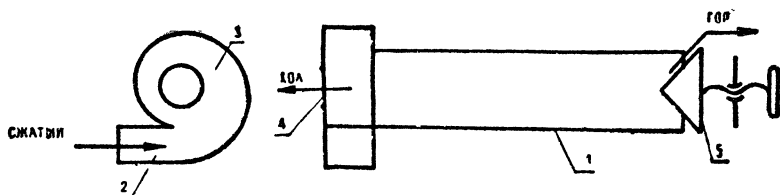


Рис. 1. Схема вихревой трубы.

Если через тангенциальное сопло пропускать сжатый воздух, то, втекая в трубу с большой скоростью, он образует интенсивный вихрь. За счет центробежных сил частички воздуха вихря не могут переместиться к центру трубы; они движутся, вращаясь около стенок, к крану и выходят через него в атмосферу.

В центре вихря образуется заметный вакуум, и воздух из окружающей среды подсасывается через отверстие диафрагмы. Если прикрывать кран, то давление внутри трубы будет повышаться, подсос воздуха прекратится и часть воздуха начнет вытекать из трубы через отверстие диафрагмы в атмосферу. Тут мы и сможем наблюдать вихревой эффект охлаждения: выходящий через отверстие диафрагмы воздух будет иметь температуру более низкую, чем температура поступающего в сопло сжатого воздуха, а температура воздуха, вытекающего через кран, станет выше, чем у сжатого воздуха.

По мере прикрывания крана все большая часть воздуха будет уходить в холодный поток, а эффект охлаждения — увеличиваться; эффект подогрева выходящего через кран горячего потока также начнет возрастать.

Наибольший эффект охлаждения холодного потока наблюдается тогда, когда в холодный поток уходит около трети всего поступающего в вихревую трубу сжатого воздуха.

Для оценки получаемого эффекта охлаждения холодного потока можно привести такой пример: при давлении сжатого воздуха в 5 атм и его температуре плюс 20° С температура холодного потока составляет минус 40° С.

При дальнейшем прикрывании крана величина холодного потока еще более увеличивается, но эффект охлаждения начинает снижаться, в то время как эффект подогрева горячего потока продолжает все время возрастать. При полностью же закрытом кране весь воздух выходит через отверстие диафрагмы и обладает температурой, практически равной температуре сжатого воздуха.

Эффект охлаждения холодного потока зависит не только от степени прикрытия крана, но и от температуры и давления сжатого воздуха, его влажности, степени расширения (отношения давления сжатого воздуха к давлению холодного потока), диаметра отверстия диафрагмы, длины трубы и других факторов.

Степень расширения воздуха в вихревой трубе играет важную роль в эффекте охлаждения. При этом не так важен уровень давления воздуха, подаваемого к соплу. Почти одинаковый эффект охлаждения холодного потока можно получить, если подавать к вихревой трубе воздух с абсолютным давлением в 2 атм, а на выходе холодного потока иметь атмосферное давление или подавать воздух с атмосферным давлением, а на выходе холодного потока иметь давление в 0,5 атм. В обоих случаях степень расширения равна двум.

Таким образом, вихревую трубу можно с успехом применять и при работе на вакуум, для чего сопловое отверстие оставлять открытым в атмосферу, а холодный (за отверстием диафрагмы) и горячий (за краном) концы трубы соединить с вакуум-насосом. При работе на вакуум заметно снижается уровень создаваемого вихревой трубой шума, что иногда немаловажно.

Одним из существенных достоинств вихревой трубы является то, что благодаря простоте конструкции ее можно изготовить в самых различных масштабах. Это особенно важно потому, что уменьшение масштабов обычных холодильных установок приводит к заметному ухудшению их коэффициента полезного действия, и к тому же они остаются довольно громоздкими.

Например, устойчивость работы полупроводниковых устройств в радиотехнике зависит от их температурного режима. Они имеют устойчивые характеристики при температуре не выше плюс 50°. С повышением температуры выше этого предела стабильность их работы ухудшается, что и приводит к расстройству электронной схемы, в которой они работают.

Так как полупроводниковый элемент потребляет очень ма-

лую электрическую мощность, то для его охлаждения достаточно иметь вихревую трубу с внутренним диаметром в 1 мм и общей длиной около 15 мм. Такой агрегат легко поместить внутрь самой схемы и, питая его очень малым количеством сжатого до 10 атм воздуха, получать температуру до минус 60°С.

Вихревую трубу можно использовать и для охлаждения небольших объектов.

Чтобы поддерживать, например, нормальную температуру и вентиляцию кабины крановщика в литейных, кузнечных и других горячих цехах, достаточно установить вихревую трубу диаметром в 20 мм, расходующую около 3 м³/мин сжатого до 5 атм воздуха.

Вихревая труба может с успехом применяться и в медицине для охлаждения и замораживания тканей и биологических веществ. Для гистологических исследований тканей под микроскопом нужны очень тонкие их срезы. На приспособлении, называемом микротомом, исследуемая ткань примораживается к охлажденной металлической пластинке, а затем специальным ножом срезается слой требуемой толщины.

Металлическая пластинка в микротоме охлаждается сжатым до 200 атм углекислым газом, подаваемым от баллона. Такой способ охлаждения не дает возможности управлять температурным режимом пластины, а это отрицательно сказывается на качестве тканевых срезов: в перемороженном срезе ледяные кристаллы разрывают тканевые клетки, плохо замороженная ткань не позволяет сделать хороший срез. При использовании же вихревой трубы для охлаждения металлической пластины появляется возможность тонко регулировать ее температуру в зависимости от вида исследуемой ткани.

Если вихревая труба работает от вакуум-насоса, то заметно снижается и создаваемый микротомом шум. К тому же исчезает неприятная необходимость периодической замены тяжелого углекислотного баллона.

Рост скорости самолетов вынуждает их летать на больших высотах, где воздух более разрежен и аэродинамическое сопротивление заметно меньше. Особенно это присуще сверхзвуковой авиации. Но полет на больших высотах требует предохранения членов экипажа от воздействия низких давлений и температур. При сверхзвуковых полетах даже на высоте 11 км, где температура окружающего воздуха достигает минус 60°, из-за трения о воздух температура внутри самолета может оказаться чрезмерно высокой, и ее понадобится охлаждать.

В случае аварии, когда люди вынуждены покинуть самолет, каждому члену экипажа необходимо обезопасить спуск на парашютах с большой высоты. Таким образом, каждый должен иметь герметичный вентилируемый скафандр, обес-

печивающий во всех случаях нормальное давление и температуру, т. е. имеющий кондиционирующее устройство.

Вихревая труба — очень удобное устройство для приготовления подаваемого в скафандр воздуха. Обладая очень малым весом и размерами, она может быть укреплена на скафандре и подавать в скафандр охлажденный или подогретый воздух требуемого давления. В самолете вихревая труба может питаться сжатым воздухом от бортовой сети, а для аварийного спуска на парашюте — воздухом из аварийного баллончика, прикрепленного к скафандру.

Если установленный на горячем конце вихревой трубы кран полностью закрыт и весь воздух проходит через отверстие диафрагмы, то его температура равна температуре поступающего в вихревую трубу сжатого воздуха. Но при этом внутри трубы очень сильно нагреваются прилегающие к стенкам слои вихря. Стенки трубы могут нагреться до температуры выше 100° . Если же трубу снаружи охладить водой, то температура выходящего через отверстие диафрагмы воздуха заметно снижается.

Еще большего охлаждения воздуха можно достигнуть, если охлаждающую воду вводить через специальное тангенционное сопло внутрь вихревой трубы. Тогда внутри трубы на стенках образуется водяной вихрь, непосредственно соприкасающийся с подогретыми слоями воздушного вихря и легко отбирающий от них тепло.

Такая вихревая труба с внутренней водяной рубашкой может понижать температуру всего выходящего из нее воздуха до отрицательной, если в нее подавать сжатый воздух с температурой плюс 20° .

Расчеты, проведенные профессором Мартыновским и инженером Войтко, показали, что подобную установку можно с успехом применить для эпизодического кондиционирования воздуха в небольших помещениях. Она оказывается экономически более выгодной, чем фреоновая или аммиачная кондиционирующие установки: они слишком дороги, сложны и громоздки.

Добываемый природный газ идет из скважины под давлением в 200 атм , а перед подачей в газопроводы давление его снижают до 40 атм . Но если такой газ пропускать по трубопроводам, то выпадающие из него при охлаждении парафиновые соединения быстро забьют трубопровод. Поэтому предварительно газ охлаждают в специальных установках и удаляют парафины, а затем пускают в магистраль. Эти дорогие установки также можно заменить вихревой трубой с водяной рубашкой.

Используя перепад давления с 200 до 40 атм , нетрудно охладить газ в вихревой трубе до требуемой температуры и таким образом очистить его от парафинов. Работу над ис-

пользованием вихревого эффекта в нефтяной и газовой промышленности ведет в Московском энергетическом институте доцент В. М. Бродянский.

Трудно перечислить все случаи применения вихревой трубы. Возможно, читатель, работающий на производстве, дополнит этот перечень.

Следует только проявлять некоторую осторожность в предпочтении вихревой трубы другим охлаждающим устройствам. Вихревой эффект по экономичности заметно уступает эффекту расширительной турбины и тем более — широко применяемым аммиачным или фреоновым холодильным машинам. Поэтому для получения в течение продолжительного времени больших количеств холода вихревую трубу применять нецелесообразно. Она пригодна для эпизодического получения малых количеств холода с температурами до минус 70°.

Для приближенной оценки применимости вихревого эффекта надо учитывать, что от 1 кг сжатого до 6 атм воздуха можно получить максимум около 5 ккал холода.

Ввиду того, что вихревая труба может создавать охлаждение, подогрев и вакуум, на ее основе создано много самых разнообразных установок и приборов. К их числу относятся холодильная камера, термостат, вакуум-насос, осушитель воздуха, гигрометр, измеритель температуры окружающего воздуха при больших скоростях полета, мельница для тонкого измельчения.

Познакомимся с этими установками поближе.

В КАМЕРЕ ИДЕТ СНЕГ

Итак, основной недостаток вихревой трубы — низкая экономичность, не позволяющая использовать ее для непрерывного получения больших количеств холода. Но многие достоинства трубы заставили ученых думать, как повысить ее экономичность.

Можно привести большое количество примеров из истории науки, когда открытие, на первый взгляд, совершенно не имеющее практического применения, становилось впоследствии основой многих важных промышленных установок. То же самое произошло и с эффектом Ранка, надолго преданным забвению.

В результате проведенных исследований выяснилось, что экономичность вихревых аппаратов можно заметно повысить, для чего необходимо тщательно утилизировать энергию выходящих из вихревой трубы потоков.

Горячий поток вихревой трубы перед краном имеет повышенное по сравнению с холодным потоком давление и бо-

лее высокую температуру, чем у сжатого воздуха. Энергию горячего потока можно использовать для увеличения эффекта охлаждения, создаваемого вихревой трубой. Это удобнее всего сделать при помощи эжектора, который за счет энергии горячего потока может понижать давление холодного потока и таким образом увеличивать степень расширения и создаваемый вихревой трубой эффект охлаждения.

Если холодный поток охлаждает какой-либо объект, то по мере его охлаждения температура отработанного холодного потока будет все время снижаться. Выбрасываемый холод целесообразно использовать для предварительного охлаждения подаваемого к вихревой трубе сжатого воздуха, что также приведет к понижению температуры холодного потока. Как показывают расчеты, эти два вида утилизации энергии позволяют заметно повысить создаваемый вихревой трубой эффект охлаждения.

В Куйбышевском авиационном институте были созданы вихревые холодильные камеры, основанные на этих двух принципах утилизации.

Сжатый воздух из заводской сети подается через патрубок в фильтр-осушитель, освобождается от влаги, масла и механических примесей и поступает затем в трубки теплообменника, где предварительно охлаждается отработанным холодным потоком. Из полости через улиточный вход сжатый воздух, расширяясь, втекает со скоростью более 300 м/сек в вихревую трубу.

После разделения в трубе холодный поток через отверстие диафрагмы поступает в камеру холода, где охлаждает загруженные в нее испытуемые изделия. Далее через серию отверстий, кольцевую полость и межтрубное пространство теплообменника отработанный холодный поток отсасывается эжектором в атмосферу. Эжектор работает на горячем потоке вихревой трубы. Температура холодного потока регулируется изменением величины холодной составляющей; роль крана горячего конца трубы выполняет регулировочная игла сопла эжектора, управляемая сектором.

При работе установки эжектор создает разрежение (до 200 мм рт. ст.) в тракте холодного потока (в камере холода кольцевой полости и межтрубном пространстве теплообменника), поэтому крышка камеры холода тщательно герметизируется резиновым кольцом и распорным винтом.

Камера холода теплоизолирована от внешнего кожуха двумя центрирующими кольцами из пенопласта и шлаковатой. Герметизирующая крышка камеры холода изолирована от внешней крышки пенопластом, теплообменник — асбестом.

Для контроля за давлением поступающего сжатого воздуха на приборном щитке установки имеется манометр, соединенный с полостью осушителя. На том же щитке установлен

гальванометр, имеющий температурную шкалу от плюс 20° до минус 70°С. Он регистрирует температуру поступающего в камеру холода холодного потока.

Датчиком для замера температуры является батарея хромелькопелевых термопар, помещенная под днищем камеры холода. В нижней части камеры имеется лючок, через который засыпается осушающее вещество (силикагель и алюмогель).

В зависимости от требуемой температуры холодного потока вихревая холодильная камера может успешно работать в широком диапазоне давлений и температур питающего ее сжатого воздуха.

Созданные в Куйбышевском авиационном институте холодильные камеры рассчитаны на работу в диапазоне давлений сжатого воздуха от 1 до 8 *атм*.

Расширение диапазона рабочих давлений легко может быть реализовано благодаря увеличению прочности высоконапорных частей установки — теплообменника и фильтра осушителя. Повышение рабочего давления позволит получить более глубокий холод.

Ввиду того что осушающее вещество после насыщения влагой требует замены, в вихревых холодильных камерах, работающих непрерывно в течение продолжительного времени, осушитель выносится из конструкции установки в отдельный агрегат.

Вихревая холодильная камера может работать и без осушителя (или при насыщенном влагой сушителе), но тогда создаваемый ею эффект охлаждения будет меньше.

При работе без осушки воздуха несколько снижается эффект охлаждения и постоянство температуры холодного потока. Это происходит из-за того, что при конденсации и замерзании воды выделяется тепло, подогревающее холодный поток, а выпадающие в холодном потоке кристаллы льда образуют на отверстиях диафрагмы нарост, время от времени срываемый холодным потоком.

Возникновение и срыв нароста приводит к периодическому изменению величины отверстия диафрагмы, что влечет за собой изменение режима установки — изменение величины и температуры холодного потока.

Если вихревую холодильную камеру питать осушенным сжатым до 8 *атм* воздухом, имеющим температуру плюс 15°С, то в камере холода объемом 10 литров можно получить любую отрицательную температуру до минус 70°С. При давлении питающего сжатого воздуха в 1,5 *атм* в камере уже достигается температура минус 20°С, при 3 *атм* — минус 40°С, при 6 *атм* — минус 62°С.

Установка очень компактна и по размерам близка к сти-

ральной машине; высота установки 900 мм, диаметр — 350 мм. Ее вес 35 кг, поэтому она легко переносится с одного места на другое.

Вихревая холодильная камера устанавливается на полу и соединяется гибким шлангом с сетью сжатого воздуха. Охлаждаемые изделия загружаются в камеру холода, и камера герметически закрывается. Запускают установку, открывая магистральный вентиль сжатого воздуха.

Благодаря исключительной простоте и надежности установка не требует специального обслуживающего персонала; ее можно легко установить на любом рабочем месте. Ее «выход» на режим при незагруженной камере холода не превышает 30 минут.

Простота конструкции обуславливает невысокую стоимость холодильной камеры и возможность ее изготовления на любом предприятии; эксплуатационные расходы незначительны. При максимальной стоимости получения на заводе сжатого до 6 атм воздуха в 0,2 копейки на килограмм месячные затраты на односменную работу установки составляют около 30 рублей.

Количество калорий холода, которое может выработать вихревая холодильная камера в течение часа, т. е. холодопроизводительность установки, зависит от допустимой величины подогрева холодного потока в камере холода и требуемой глубины охлаждения. Если при питании установки шестиатмосферным сжатым воздухом холодный поток в процессе охлаждения загруженных в камеру холода изделий будет нагреваться на 10° , то холодопроизводительность установки составит около 100 ккал/час.

Так как приготовление холодного потока вихревой холодильной камеры осуществляется в вихревой трубе, максимальная холодопроизводительность установки будет соответствовать той же для вихревой трубы.

Упоминалось, что максимальная холодопроизводительность вихревой трубы, питаемой шестиатмосферным воздухом, составляет около 5 ккал на каждый килограмм расходуемого ею воздуха. Значит, наибольшая холодопроизводительность рассмотренной вихревой холодильной камеры может быть не более 500 ккал/час; такой она бывает в момент пуска установки, постепенно снижаясь вместе со снижением температуры в камере холода.

Так как вихревая труба работает на перепаде давления, то холодильная камера легко может быть приспособлена для работы не от сети сжатого воздуха, а от вакуум-насоса. Тогда входной патрубок оставляется открытым в атмосферу, а выхлопная труба эжектора соединяется с вакуум-насосом. При этом в камере холода можно получить большое разре-

жение, имитирующее «высотные условия», т. е. создать термобарокамеру.

Если установка работает на неосушенном воздухе, то выпадающие в холодном потоке кристаллы льда образуют снежинки, а в камере холода возникает миниатюрная «снежная метель». При низких положительных температурах в камере холода можно имитировать дождь и туман — создавать любые метеорологические условия.

Для каких же целей может быть использована вихревая холодильная камера?

Повышение твердости режущего инструмента в металлообрабатывающей промышленности достигается его закалкой, которая заключается в том, что металл нагревают до определенной высокой температуры, а затем быстро охлаждают, погружая в воду или масло комнатной температуры. Исследование закаленного таким способом металла показало, что при этом не вся масса металла переходит в твердое состояние, внутри твердых зерен остаются ячейки первоначальной мягкой («отожженной») структуры. Эти ячейки не позволяют получить предельно возможную твердость.

Эти ячейки тоже можно закалить, т. е. перевести их в твердую структуру. Для этого необходимо охладить металл до отрицательных температур. Этот процесс охлаждения, называемый термообработкой холодом, начинает сейчас применяться повсеместно и дает очень хорошие результаты: при термообработке до минус 60° твердость инструмента повышается на 20—30%. Ясно, что наличие в инструментальном цехе недорогой и простой вихревой холодильной камеры может дать очень большую экономию дорогого металла и высококвалифицированного труда инструментальщиков.

Известно, что нельзя сохранить размеры детали, изготовленной из только что отлитой заготовки. Со временем она деформируется и изменяет свои размеры, или, как говорят машиностроители, стареет. Для предотвращения этого отливки таких ответственных деталей, как станины металлорежущих станков, раньше выдерживались во дворах заводов по нескольку лет, после чего их отправляли на окончательную обработку. Процесс деформации при старении также связан с перестройкой структуры металла из одного состояния в другое под воздействием температуры.

Процесс старения можно сократить с нескольких лет до нескольких часов, если охладить отливку до низкой температуры.

Серийное производство и стандартизация в современном машиностроении требуют очень точной обработки таких поверхностей сопряжения деталей, как цилиндрические и конические отверстия и валы, резьбы.

Контролируют размеры при обработке этих поверхностей

концевыми мерами или калибрами. Этот очень точный и дорогой инструмент довольно быстро изнашивается; при многократных измерениях достаточно стереть с его рабочих поверхностей несколько микронов металла, как им нельзя уже пользоваться и реставрировать невозможно ничем... кроме холода. Во время термообработки холодом (так же, как и в процессе обычной закалки) изменение структуры металла сопровождается некоторым увеличением объема. Обработанный холодом изношенный мерительный инструмент увеличивает свой объем и восстанавливает первоначальные размеры. Таким образом, срок его службы увеличивается вдвое, что дает колоссальную экономию инструмента.

Надежная работа шариковых и роликовых подшипников зависит от точности изготовления их рабочих поверхностей и стабильности размеров в различных условиях работы. Поэтому перед окончательной шлифовкой обоймы этих подшипников подвергаются обработке холодом при температуре от минус 30 до минус 60°.

Все более широкое применение в технике и быту находит дюралюминий — легкий и прочный сплав. Из его листов штампуют самые различные детали и предметы домашнего обихода. Он обладает способностью быстро стареть, т. е. упрочняться, поэтому перед штамповкой его необходимо отжечь (сделать его структуру мягкой) и быстро провести штамповку. Отжигать заготовки приходится небольшими партиями, чтобы успеть отштамповать их за 2—3 часа. Если при штамповке сложной детали необходимо сделать несколько переходов, то нужно или быстро менять штампы у пресса, или несколько раз отжигать заготовки, что очень неудобно. Здесь опять выручает холод. Дюралюминий можно «заморозить» в мягком состоянии на долгое время, охладив его до температуры минус 20° или минус 30°.

То же происходит и с заклепками из дюралюминия. Установив на рабочем месте клепальщика вихревую холодильную камеру, можно запастись заклепками на всю смену и не оглядывать рабочего на их транспортировку от отжиговой печи.

А если нужно насадить с натягом, например, втулку клапана или седло клапана в цилиндрический блок двигателя внутреннего сгорания? Для этого пользуются термическим расширением металлов, т. е. или греют блок или охлаждают деталь. Конечно, маленькую деталь охлаждать удобнее, и это можно легко сделать непосредственно на рабочем месте в вихревой холодильной камере.

А сколько тончайших приборов и агрегатов имеют космические и метеорологические ракеты и высотные самолеты! Сколько приборов служит нашим полярным экспедициям! От каждого из этих приборов и агрегатов зависит успех человеческого замысла и судьбы людей; поэтому перед тем, как

начать служить, они должны пройти тщательную проверку во всех возможных при их работе условиях.

И здесь вихревая холодильная камера оказывается очень полезной, так как она может создать и холод, и разрежение, и даже снежную метель. Различные виды лабораторных испытаний и исследований химических реакций и поведения веществ при отрицательных температурах, исследование живых организмов и растений, консервация крови и различных биохимических веществ — вот далеко не полный перечень всех случаев применения вихревой холодильной камеры.

Куйбышевский авиационный институт наладил выпуск холодильных камер. Прежде чем приступить к нему, необходимо было выяснить, выгодно ли с народнохозяйственной точки зрения развивать установки, имеющие сравнительно низкую экономичность цикла, не лучше ли вместо них организовать выпуск подобных домашним холодильникам низкотемпературных фреоновых промышленных установок, цикл которых более экономичен.

Ответить на этот вопрос взялась кафедра экономики и организации производства. Был произведен тщательный расчет всех производственных затрат, включающих стоимость установки, ее ресурс, расходы на обслуживание, производственную площадь, стоимость электроэнергии и сжатого воздуха, затрачиваемых на охлаждение единицы веса металлических деталей.

Оказалось, что стоимость установки, а также расходы на обслуживание и производственную площадь, составляющие основную долю всех расходов, у вихревой холодильной камеры несравненно меньше; расходы же на электроэнергию и сжатый воздух, определяемые экономичностью цикла установок, совсем малы.

Производственная экономичность вихревых холодильных камер в некоторых случаях в 4 раза выше, чем у фреоновых низкотемпературных установок равной холодопроизводительности. Так вихревые холодильные камеры получили путевку в жизнь.

КАК ОНИ ПЕРЕНЕСУТ ПЕРЕМЕНУ КЛИМАТА?

В производственной и особенно в лабораторной практике часто появляется потребность в испытании образцов или изделий как при отрицательных, так и при положительных температурах.

Использовать для этих целей отдельные холодильную и нагревательную установки не всегда удобно, так как приходится переносить испытуемое изделие из одной камеры в дру-

гую или изготавливать камеру со сложной системой переключения с охлаждения на нагрев. К тому же применять нагреватели в виде электрических сопротивлений или горелок с открытым пламенем часто нельзя из-за опасности пожара при испытании легковоспламеняющихся веществ.

Этих недостатков лишен холодильно-нагревательный термостат, который легко сделать на базе вихревой трубы, используя соответственно или холодный или горячий потоки.

Как и в вихревой холодильной камере, в термостате (рис. 2) предусматривается утилизация энергии выходящих потоков, т. е. вводится теплообменник и эжектор.

Сжатый воздух из внешней магистрали через патрубок 4 подается в межтрубное пространство теплообменника 7, охладившись там, он вытекает через сопловый вход в вихревую трубу 9. Холодный поток вихревой трубы через кран 8 и вертикальную трубку поступает в межстенную полость прямоугольной термостатической камеры 6. После охлаждения камеры отработанный холодный поток через донный патрубок проходит по трубкам теплообменника, охлаждая поступающий в вихревую трубу сжатый воздух, и через кран 2 отсасывается эжектором 1 в атмосферу. Эжектор работает на поступающем к нему через кран 3 горячем потоке вихревой трубы.

Для получения положительных температур заблокированные между собой краны 2, 3 и 8 переключаются. В этом случае выходящий из вихревой трубы горячий поток через кран 3 и правую вертикальную трубку поступает в межстенную полость термостатической камеры, нагревает ее и через донный патрубок проходит по трубкам теплообменника, подогревая поступающий в вихревую трубу сжатый воздух. Из теплообменника отработанный горячий поток через кран 2 и правый патрубок поступает в эжектор.

И в этом случае горячий поток является для эжектора рабочим потоком: за счет его повышенного давления эжектор отсасывает холодный поток, который подается к эжектору через краны 8 и 2. Как для получения холода, так и для подогрева плавное регулирование температуры в термостатической камере производится перекрытием сопла эжектора.

Термостатическая камера и все элементы установки теплоизолированы от окружающей среды шлаковатой. Ввиду того что рабочий поток, холодный или горячий, не поступает в полость термостатической камеры, теплоизолированная крышка ее не герметизируется, а только плотно прикрывается для предотвращения поступления воздуха из окружающей среды.

В крышке сделано многослойное смотровое окно для наблюдения за испытуемым изделием или образцом. Для конт-

роля за давлением поступающего сжатого воздуха на приборном щитке термостата установлен манометр, соединенный с полостью теплообменника.

Указателем температуры рабочего потока, омывающего

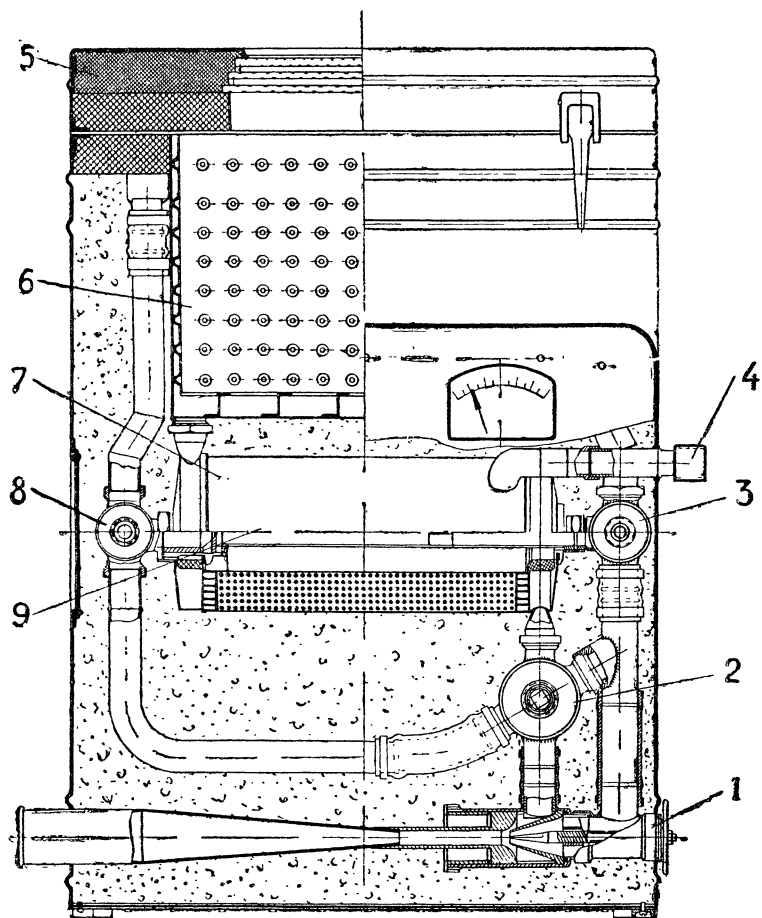


Рис. 2. Вихревой термостат.

термостатическую камеру, является установленный на том же щитке милливольтметр, имеющий температурные шкалы от 0 до минус 60° для охлаждения и от 0 до плюс 100° для подогрева. Для переключения шкал над прибором установлен переключатель.

Датчиком для замера температуры служит батарея хромелькопелевых термопар, рабочие спай которых помещены в межстенном пространстве термостатической камеры. Измерять температуру в термостатической камере можно через смотровое окно помещенным в нее термометром.

Как и вихревая холодильная камера, вихревой термостат может быть приспособлен для работы в широком диапазоне давлений и температур питающего сжатого воздуха.

Разработанный в Куйбышевском авиационном институте вихревой термостат рассчитан на питание осушенным сжатым воздухом заводской сети с давлением в 5 атм и температурой 20°.

В термостате не предусмотрено устройство для осушки сжатого воздуха от влаги, что значительно упрощает установку и делает ее более компактной. Для приготовления осушенного сжатого воздуха институт разработал специальный полуавтоматический алюмогелевый осушитель. Он представляет собой емкость, заполненную алюмогелем — веществом, жадно поглощающим влагу.

В процессе осушки воздуха алюмогель все больше и больше насыщается влагой и теряет способность к поглощению. Для ее восстановления алюмогель необходимо нагреть до температуры 280°, поэтому в осушителе есть электрическая печь. Во время восстановления алюмогеля осушитель отключается от термостата и включается печь.

В момент полного восстановления осушающих свойств алюмогеля печь автоматически отключается и в помещенный в алюмогеле змеевик подается охлаждающая вода. После охлаждения алюмогеля установка снова может быть включена для подачи осушенного воздуха в вихревой термостат. Таким образом, непрерывно в течение восьми часов осушитель может подавать в вихревой термостат осушенный и охлажденный сжатый воздух, в течение последующих четырех часов совершается несложный процесс восстановления алюмогеля.

Три параллельно включенных осушителя обеспечивают непрерывную работу двух вихревых термостатов.

При работе на осушенном сжатом воздухе вихревой термостат может создавать в термостатической камере объемом в тридцать пять литров любую температуру от минут 60° до плюс 100°. Регулирование температуры без труда производится ручкой управления иглой эжектора, а также изменением давления сжатого воздуха при помощи входного вентиля.

Малые габариты (высота 900 мм, длина 700 мм, ширина 600 мм) и небольшой вес (около 70 кг) позволяют легко перемещать установленную на ролики камеру.

Так же, как у холодильной камеры, время выхода на ре-

жим и холодопроизводительность термостата существенно зависят от требуемой глубины охлаждения. При питании сжатым до 6 атм воздухом термостат расходует около четырех килограммов воздуха в минуту, таким образом, его максимальная холодопроизводительность составляет в час около 1200 килокалорий.

Кроме ручного управления, в термостате предусмотрен автоматический электронный регулятор температуры, который выводит установку на режим и поддерживает с высокой точностью заданную температуру в термостатической камере.

Часто ли появляется необходимость в вихревом термостате?

Приборы и аппараты, работающие в сложных метеорологических условиях, требуют тщательной проверки не только на безотказную работу при отрицательных температурах Арктики, но и при экваториальной жаре. Они должны пройти эту проверку еще на заводе.

Создавая приборы для континентальных условий, необходимо проверить влияние на их работу суточных и годовых изменений температуры, которые могут составлять несколько десятков градусов.

Для всего этого и нужен вихревой термостат.

Развитие промышленного и жилищного строительства требует новых прочных и дешевых материалов. Материалы должны пройти тщательное исследование и проверку. Здания строятся на десятки лет, и в течение всей своей жизни они должны быть так же прочны, красивы и удобны, как только что построенные. Поэтому выбор и проверка строительных материалов на устойчивость при многократных суточных и годовых изменениях температуры приобретают первостепенное значение. Вихревой термостат и здесь явится очень полезной установкой.

Для каждого двигателя внутреннего сгорания при его конструировании выбирают определенный сорт топлива и смазывающего масла. Например, нельзя использовать в районах с холодным климатом двигатели, работающие на мазуте, так как с понижением температуры мазут быстро застывает. Легко застывающее масло также нельзя использовать в условиях низких температур.

В жарких условиях, наоборот, масла с малой вязкостью теряют свои смазывающие свойства, что приводит к быстрому износу трущихся частей машины. Поэтому у всех топлив и масел перед использованием должна быть проверена зависимость вязкости и испаряемости от температуры, температура воспламенения и другие физические свойства.

Эти исследования очень удобно проводить в вихревом термостате.

Лабораторные исследования физических свойств различных веществ — их вязкости, теплопроводности, электросопротивления, температуры кристаллизации, удельного веса; создание температурных условий для исследования различных химических и биологических процессов; тарировка термометров и термопар — во всех этих случаях вихревой термостат является очень удобной установкой.

РАБОТАЕТ «ВИХРЬ»

Как мы уже говорили, вихревая труба может не только производить охлаждение и подогрев, но и создавать вакуум, т. е. разрежение. Это ее замечательное свойство и легло в основу еще одного интересного аппарата — вихревого вакуум-насоса (рис. 3), разработанного группой инженеров под руководством доктора технических наук М. Г. Дубинского.

Сжатый воздух из внешней сети через тангенциальный сопловой вход 1 поступает в цилиндрическую камеру завихрения 2, где интенсивно закручивается, образуя около оси камеры разрежение. Благодаря этому откачиваемый воздух поступает через центральную трубку 3 в камеру завихрения 2 и далее в диффузор 4. Из диффузора смесь откачиваемого и рабочего воздуха собирается в улитке 5 и затем выбрасывается в атмосферу или отводится по назначению. В центре улитки имеется клапан 6, который служит для соединения ядра вихря с атмосферой и создает более устойчивую работу насоса.

Создаваемое вихревым вакуум-насосом разрежение и коэффициент эжекции (этим коэффициентом называется отношение весового расхода отсасываемого воздуха к расходу подаваемого в сопло сжатого воздуха) определяются давлением сжатого воздуха и геометрическими соотношениями между элементами насоса.

Поступающий в вихревую камеру рабочий воздух по мере приближения к оси все больше увеличивает свою скорость и теряет давление. Если бы воздух не обладал вязкостью, то приблизительно на 0,4 радиуса камеры скорость его в вихре становилась максимальной, а давление — равным нулю. Теоретически вихревой вакуум-насос мог бы создавать абсолютный вакуум. Это обеспечивалось бы при любом давлении сжатого воздуха, если разность между давлением сжатого воздуха и давлением в выходном патрубке насоса была бы достаточной.

Воздух же, как и любой другой газ, обладает вязкостью, поэтому образуемое им в вихревом вакуум-насосе разрежение заметно меньше, чем в идеальном случае.

Но основное достоинство налицо. Вихревой вакуум-насос дает большое разрежение при самых различных давлениях питающего его сжатого воздуха. «Всерезжимность», простота и исключительная компактность делают вихревой вакуум-насос серьезным соперником струйного эжектора, так как последний имеет значительно большую длину и, главное, требует строго расчетного режима работы.

Изменением диаметра центральной трубки вакуум-насоса может быть настроен или на максимальное количество откачиваемого воздуха, для чего диаметр центральной трубки должен составлять около 0,8 диаметра диффузора, или на максимальный вакуум, создаваемый насосом в замкнутом объеме; для этого диаметр центральной трубки должен составлять около 0,16 диаметра диффузора.

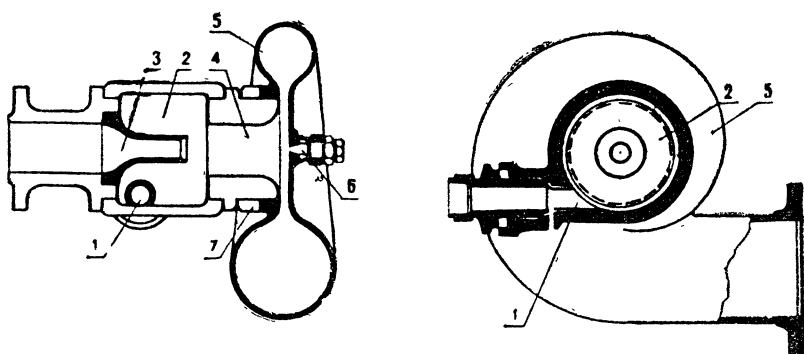


Рис. 3. Вихревой вакуумный насос ДКМ.

Максимальный коэффициент эжекции насоса достигает значения 2,6, т. е. он может откачивать 2,6 кг воздуха на каждый килограмм расходуемого им сжатого воздуха.

При абсолютном давлении сжатого воздуха в 3 атм и расходе его около 2 м³ в минуту вакуум-насос в замкнутом объеме 40 л за 1,5 минуты может создать остаточное давление до 0,01 атм. При отсасывании из объема 500 л через 17 минут остаточное давление составляет 0,025 атм.

Создаваемое вихревым вакуум-насосом разрежение в большой степени зависит от давления на выходе из улитки диффузора. Давление в 0,01 атм вакуум-насос обеспечивает, если выход из улитки соединен с окружающей средой, имеющей атмосферное давление. Если на выходе из улитки каким-либо образом понизить давление, то вакуум увеличится. Это понижение давления можно осуществить вторым вихревым вакуум-насосом, имеющим несколько большую производительность.

Два последовательно работающих насоса смогут обеспечить еще более глубокий вакуум.

Вакуумирование необходимо многим отраслям народного хозяйства. Для получения высококачественной стали и цветных сплавов, например, важно не только точно выдерживать процентное содержание входящих в сплав элементов, но и удалить до разливки в формы все имеющиеся в расплавленном металле газы. Иначе после затвердевания в тело слитка будет вкраплено множество мелких пузырьков, делающих структуру металла неоднородной и снижающих его прочность.

Если плавку производить под вакуумом, то из металла легко удаляются все газы и слиток получается однородным и высококачественным.

Современное машиностроение расходует очень много высококачественных сплавов. Возьмем, например, лопатки мощных турбин для тепловых электростанций и реактивных двигателей наших воздушных лайнеров. Они работают в очень тяжелых условиях: вращаясь со скоростью 200—300 м/сек, они омываются газами, имеющими температуру до 1000°. На каждую лопатку действует центробежная сила в несколько тонн и переменные силы от газовой струи, вызывающие вибрацию лопатки.

Если в теле лопатки имеется крошечная раковина, то вибрация создает около нее быстро увеличивающуюся трещину. Центробежные силы разрывают лопатки, двигатель разрушается.

В подобных тяжелых условиях работают коленчатые валы, шатуны и клапаны двигателей внутреннего сгорания и много других деталей. Для всех этих деталей нужен высококачественный металл, который может дать вакуумная плавка.

Вихревой вакуум-насос очень удобен для этого: он освобождает от необходимости устанавливать сложные и громоздкие вакуум-насосы, требующие квалифицированного обслуживания. А сеть сжатого воздуха для работы вихревого вакуум-насоса есть на каждом металлургическом и машиностроительном заводе.

Вакуумирование очень широко применяется в электрической промышленности. Для предотвращения замыкания все обмотки электрических машин и приборов тщательно пропитывают специальными изоляционными веществами (лаком, парафином и т. п.). Пропитку ведут под вакуумом, иначе внутри обмотки могут остаться пузырьки воздуха, препятствующие проникновению туда изоляционного вещества.

И здесь вихревой вакуум-насос может сослужить хорошую службу, так как он позволяет создать простые и очень компактные вакуумные пропиточные камеры на любом рабочем месте.

Температура кипения воды зависит от давления, при котором она нагревается. Альпинисты хорошо знают, что высоко в горах, где давление воздуха заметно меньше атмосферного, вода закипает при температуре 85—90°. Если еще больше снизить давление, можно заставить воду кипеть даже при нулевой температуре. Но для парообразования одного килограмма воды необходимо подвести около 600 ккал тепла. Таким образом, кипящая при 0° вода может отбирать тепло от какой-либо среды и охладить последнюю до температуры, близкой к нулевой.

На таком принципе работают широко применяемые в холодильной промышленности пароэжекторные холодильные установки, вакуум в которых создают двухступенчатые струйные эжекторы, работающие на водяном паре. Струйные эжекторы не могут обеспечить больших перепадов давления, поэтому на выходе из них делают специальное устройство, в котором конденсируется выходящий из эжектора пар, обеспечивая тем самым пониженное давление.

Конденсатор должен иметь большую поверхность теплообмена пара с охлаждающей водой, поэтому пароэжекторные холодильные установки обычно бывают очень громоздкими. Так как вихревой вакуум-насос дает значительно больший вакуум, то его применение в подобных установках позволит избавиться от конденсатора и выбрасывать отработанный пар в атмосферу.

Более того, вихревой вакуум-насос может совмещать в себе и функции прекрасного теплообменника. Для этого внутрь трубы вводится вода, которая образует на стенках вихревую водяную рубашку и очень интенсивно охлаждает центральный воздушный вихрь, так как периферийные слои последнего прогреваются за счет вихревого эффекта.

Значит, вихревой вакуум-насос может заменить эжектор и конденсатор холодильной установки и сделать ее настолько компактной, что она может быть использована для кондиционирования легковых автомобилей, кабин тракторов и грузовых машин, работающих в жарких условиях. Тут уже нет нужды расходовать топливо на приготовление пара: тепла выхлопных газов двигателя автомобиля вполне достаточно для этого.

В Куйбышевском авиационном институте ведутся работы по созданию таких кондиционирующих установок.

На основе вихревого вакуум-насоса построен удобный для заводских условий пылесос, легко убирающий стружку и даже мелкие куски металла. Он может служить и транспортером сыпучих тел, например, отсасывать стружку от станка, наждачную пыль от точила или шлифовального круга.

Он также может работать как эжектор — за счет воздуха

высокого давления сжимать подсасываемый воздух промежуточного давления.

На основе вихревого вакуум-насоса в Куйбышевском авиационном институте разработан аппарат «Вихрь» (рис. 4), служащий для отсоса сварочных газов при электродуговой сварке обмазанным электродом. Этот аппарат помогает отсасывать прямо из зоны сварки вредные для сварщика газы и пыль, обеспечивая нормальные условия работы даже в замкнутых объектах (например, внутри различных емкостей).

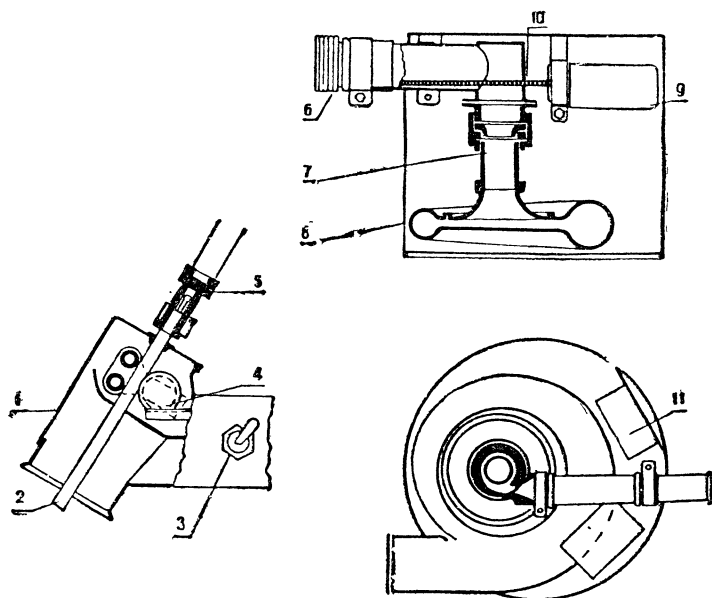


Рис. 4. Конструкция аппарата «Вихрь».

Укрепленный в пустотелом электрододержателе **1** обмазанный электрод **2** при помощи механизма **4** полуавтоматически подается в зону сварки. Сварщик управляет подачей, нажимая на установленную в ручке электрододержателя кнопку **3**.

Сварочный ток поступает на электрод через гибкую шину и наконечник **5**. Когда электрод израсходован, ток автоматически выключается, удаляется огарок и заправляется новый электрод.

Электрододержатель соединен облегченным гибким шлангом **6** с коробкой агрегатов **8**, в которой установлен отсасывающий газы вихревой вакуум-насос **7**, моторчик **9** подающего механизма и клеммная колодка **11**. Вращение от мо-

торчика к подающему механизму передается при помощи гибкого валика 10, уложенного, как и шина сварочного тока, внутри шланга.

Общий вес электрододержателя и висящего на нем шланга не превышает 0,5 кг, что очень удобно для сварщика. Гибкий шланг имеет в длину 3 м и поэтому не стесняет движений. В случае необходимости коробку агрегатов весом в 6 кг можно легко перенести на новое место.

К коробке агрегатов подводится обычная шина сварочного тока, шланг подачи сжатого воздуха и гибкий рукав для отвода отсасываемых газов в вентиляционную систему.

ВИХРЬ-МЕЛЬНИК

В практике часто появляется необходимость в измельчении таких материалов, как пробка, резина, твердые сплавы, минералы. Сделать из них порошок в обычных мельницах очень трудно: одни материалы легко деформируются, но не дробятся, другие же быстро изнашивают рабочие поверхности мельницы.

Для этих случаев М. Г. Дубинский и В. И. Акунов создали на основе вихревого вакуум-насоса вихревую мельницу, которая представляет собой два вихревых вакуум-насоса, имеющих общий диффузор. Диффузор является одновременно и помольной камерой. Измельчаемый материал засыпают через центральные отсасывающие трубки каждого из насосов, питаемых сжатым воздухом или паром, и он проходит через камеры смешения, не касаясь стенок и не изнашивая их.

При входе в помольную камеру, благодаря противоположному вращению, частицы материала с силой ударяются друг о друга и измельчаются. Измельченный материал выносятся из камеры потоком дополнительного воздуха (или пара) и поступает в классификатор, в котором сортируется по величине зерна.

Где можно применить вихревую мельницу?

Сейчас очень много деталей в машиностроении изготавливают методом механической обработки — точением, фрезерованием, строганием, шлифованием и т. д. Для изготовления таких деталей, как поршневые кольца, только 20—25% металла заготовок остается в готовой детали, а остальное идет в стружку и окалину.

Гораздо проще изготовить кольцо методом порошковой металлургии. Заранее приготовленный порошок металла или смесь порошков нескольких металлов засыпается в форму, соответствующую форме готового изделия, прессуется и спекается в ней при определенной температуре.

После спекания получается готовая деталь совершенно

без потери металла, с гарантированной стабильностью размеров. Методом порошковой металлургии можно изготавливать многие детали, особенно из высокопрочных сплавов, что дает большую экономию.

Вторым примером служит возможность утилизации резины. Ежегодно мы выбрасываем колоссальное количество старых автомобильных покрышек и камер. Если из резинового утиля делать порошок, то его с успехом можно использовать в качестве прекрасного наполнителя к каучуку и таким образом снова заставить жить в новых покрышках, камерах или других дефицитных резиновых изделиях.

ВИХРЕВОЙ ГИГРОМЕТР

Атмосферный воздух всегда содержит в себе пары воды. В зависимости от влажности определяют пригодность воздуха для его использования в тех или иных случаях.

В сушильном деле необходим, например, сухой (с малым содержанием паров воды) воздух. Зная влажность воздуха до и после процесса, можно определить количество удаленной влаги. В пищевой промышленности для предотвращения усушки продуктов вентиляционный воздух должен быть, напротив, влажным.

Большое значение влажность воздуха имеет в лечебной практике: легочным больным необходим сухой воздух, для проведения ингаляций — влажный.

В приборостроении детали перед сборкой чистят струей сжатого воздуха. Если воздух окажется влажным, а деталь — холодной, то она может запотеть и заржаветь.

Определение влажности природных и других газов, содержание в них паров легкокипящих веществ — также необходимо в производстве.

С давних пор было замечено, что обезжиренный человеческий волос заметно изменяет длину при изменении влажности воздуха. На этом принципе был построен широко распространенный сейчас в обиходе волосяной гигрометр — прибор для измерения влажности.

Если шарик термометра намочить водой, то за счет испарения воды термометр будет показывать более низкую температуру. Величина понижения температуры зависит от влажности окружающего воздуха. Этот принцип используется в гигрометре с сухим и мокрым термометрами, называемом также психрометром Августа.

При охлаждении какого-либо тела во влажном воздухе наступает момент, когда пары воды начинают конденсироваться и выпадать в виде росы на поверхности тела. Температура тела в этот момент соответствует температуре точки

росы, определяемой влажностью исследуемого воздуха при данном давлении.

На этом принципе впервые был построен гигрометр Даниэля и сейчас строятся все наиболее точные промышленные и лабораторные гигрометры. Основным элементом подобных гигрометров является охлаждаемая изнутри полированная поверхность. Для точного установления точки росы температура этой поверхности должна быть плавно регулируемой и контролируемой. Регулировку обычно осуществляют медленным охлаждением элемента с полированной поверхностью при помощи жидкого азота, сухого льда или за счет дросселирования сжатого до 200—300 атм воздуха. Температуру поверхности замеряют впаянной в нее термопарой.

Воздух или газ, влажность которого требуется измерить, пропускается над полированной поверхностью; момент запотевания регистрируется фотоэлементом или визуально. По температуре поверхности в момент запотевания при помощи таблиц легко и с большой точностью определяется влажность испытуемого газа.

Но у гигрометров есть неудобство. Их надо обеспечивать жидким азотом или сухим льдом, которые нельзя иметь про запас ввиду их быстрой испаряемости и возгонки. Питание же воздухом высокого давления не всегда доступно.

Многообещающим для охлаждения чувствительного элемента является применение полупроводникового охлаждающего элемента; в ближайшее время, вероятно, будет налажен выпуск гигрометров на полупроводниковых приборах. Правда, пока что они могут создавать температуру только до минус 50°, что не всегда достаточно для измерения влажности газов.

Более низкие температуры с сохранением простоты конструкции могут быть получены при использовании в гигрометре вихревого эффекта (рис. 5).

Чувствительный элемент 5, имеющий вид цилиндрического стержня, укреплен в диафрагме 4 на оси вихревой трубы 6 в зоне ее соплового сечения. На противоположном конце вихревой трубы имеется раскруточный диффузор с регулируемой крышкой 7.

Сжатый воздух вводится в вихревую трубу через штуцер 8 и сопловую улитку 12. После прохождения внутри трубы вихрь раскручивается и сжимается в диффузоре до атмосферного давления, затем вытекает из него в атмосферу.

За счет диффузора в осевой области соплового сечения вихря образуется значительный вакуум, что обеспечивает высокую степень расширения воздуха и большой эффект охлаждения элементов ядра вихря, омывающих чувствительный элемент.

Эта способность к самовакуумированию позволяет при пи-

тании сжатым до 3 атм воздухом охладить чувствительный элемент более чем на 100° .

Испытуемый газ подается через патрубок 1 в полость корпуса 3, где он омывает выступающий плоский торец чувствительного элемента. При медленном охлаждении чувствительного элемента наступает момент конденсации содержащейся

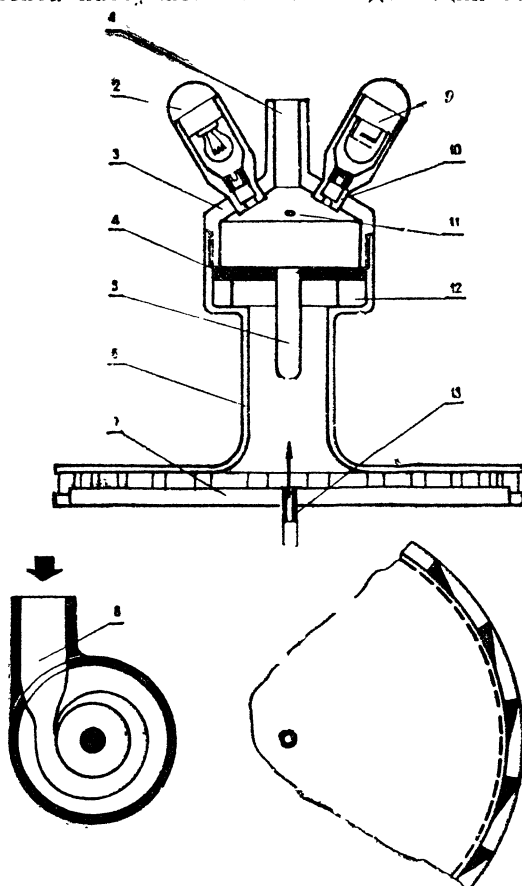


Рис. 5. Вихревой гигрометр.

в газе влаги, и на поверхность выпадает роса. Этот момент может фиксироваться двояко: описанным уже методом помутнения зеркала и методом утечки тока.

Метод утечки тока основан на том, что чувствительный элемент делают из металлической трубки, в которую впаяна стеклянная трубка. В ее внутреннюю полость впаян медный стержень с термопарой на срезе.

Металлическая трубка и стержень включаются в электрическую цепь регистрирующего устройства. При появлении

влаги на торце сопротивление между трубкой и стержнем резко уменьшается и возникает ток утечки, который фиксируется регистрирующим устройством, а показание милливольтметра в этот миг соответствует точке росы. При этом методе изображенные на рис. 5 фотоэлемент 9 и лампочка 2 отсутствуют.

При фиксировании точки росы методом помутнения зеркала чувствительный элемент представляет собой сплошной медный стержень с полированным торцом и заделанной под зеркальной поверхностью термопарой. Согласно рис. 5, в этом случае световой луч от лампочки 2 подается на зеркальную поверхность чувствительного элемента, откуда отражается на фотоэлемент 9. При помутнении зеркала от выпавшей влаги световой луч рассеивается, что фиксируется фотоэлементом и управляемым им регистрирующим устройством.

В обоих методах регистрирующее устройство в момент срабатывания закрывает кран подачи сжатого воздуха в вихревую трубу, после чего чувствительный элемент начинает подогреваться и роса испаряется; обеспечивая автоматическое возвращение гигрометра в рабочее состояние. Цикл повторяется снова.

Таким образом, при непрерывной работе вихревой гигрометр может следить за влажностью испытуемого газа, имеющего давление от 350 до 0,2 атм абсолютных.

В зависимости от давления испытуемого газа при помощи регулируемого жиклера 11 устанавливается оптимальная прокачка газа над поверхностью чувствительного элемента, из жиклера газ отсасывается в диффузор по трубке 13.

Весь гигрометр вместе с электрической схемой монтируется в металлический корпус с размерами 200 : 200 : 300 мм и весит около 6 кг.

Наличие выводов нормально замкнутых и нормально разомкнутых контактов, которые размыкаются (или замыкаются) при фиксировании гигрометром точки росы, позволяют легко использовать его для автоматизации производственного процесса.

ВИХРЕВОЙ ОСУШИТЕЛЬ-ПИСТОЛЕТ

В точном машиностроении и приборостроении, как уже говорилось, очистка деталей перед сборкой осуществляется струей сжатого воздуха. Для предотвращения отпотевания и коррозии деталей при этом обдувающий воздух должен быть теплым и сухим, т. е. его точка росы должна быть значительно ниже его температуры.

Осушают воздух для этого обычно в специальных осушителях при помощи осушающих веществ — силикагеля, алю-

могеля или каустической соды. Такой метод вынуждает концентрировать рабочие места около осушителя или тянуть воздушную магистраль от осушителя к рабочим местам. Эксплуатация осушителя связана с необходимостью периодической смены (или регенерации) осушаемого вещества.

Вихревая труба позволяет создать простой и надежный прибор, дающий струю осушенного воздуха непосредственно на рабочем месте. Этот прибор может быть смонтирован в виде пистолета, представленного на рис. 6.

При открывании с помощью гашетки 9 воздушного крана 2 подводимый к трубке 1 сжатый воздух подается в вихревую

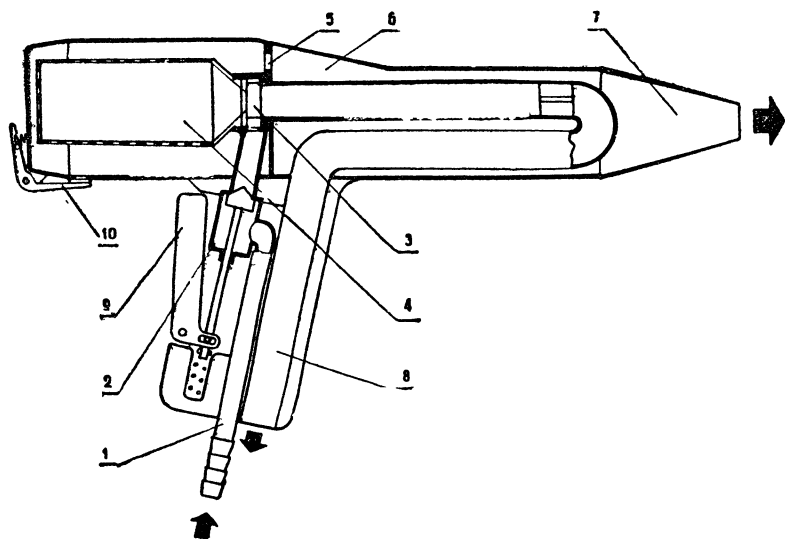


Рис. 6. Вихревой осушитель-пистолет.

трубу 3. После разделения в вихревой трубе холодный поток через отверстие диафрагмы поступает в полость фильтра 4, где освобождается от выпавшего из него снега и через отверстие 5 проходит в полость 6. В этой полости холодный поток подогревается протекающим по вихревой трубе и трубе 8 горячим потоком, а затем через сопло 7 подается на обдуваемую деталь.

Отработанный горячий поток из трубки 8 выбрасывается в атмосферу. При выключении осушителя-пистолета оставшийся в фильтре снег тает, вода стекает вниз и сливается через клапан 10.

Таким образом, вихревой осушитель-пистолет позволяет получать струю осушенного и очищенного от масла воздуха для обдува деталей на любом рабочем месте.

Описанные в брошюре установки и приборы (кстати, они разработаны только в СССР) не исчерпывают всего многообразия применения вихревого эффекта.

Научно-технический прогресс с каждым днем ставит перед учеными и производственниками сотни новых задач, в успешном решении которых немаловажную роль сыграет и вихревой эффект.

Для выяснения возможности рационального использования вихревого эффекта и разработки основанных на нем установок и приборов в Куйбышевском авиационном институте организована Отраслевая лаборатория промышленного применения вихревого эффекта, которая располагает исчерпывающими материалами и всегда может дать совет и консультацию рационализаторам, желающим использовать этот эффект на своем производстве.

РЕКОМЕНДУЕМ ПРОЧИТАТЬ

Меркулов А. П. Характеристика и расчет вихревого холодильника. Журн. «Холодильная техника», 1958, № 3.

Меркулов А. П. Вихревой термостат. Журн. «Холодильная техника», 1960, № 6.

Дубинский М. Г., Копелев С. З., Мацук А. Д. Вихревой вакуум-насос. Известия АН СССР. ОТН, 1956, № 3.

Автор
Александр Петрович Меркулов

Редактор **С. М. Иванов**
Техн. редактор **И. Т. Ракитин**
Корректор **В. М. Климачева**
Обложка **В. Янкилевского**

Сдано в набор 14.XI 1962 г. Подписано к печати 19.I 1963 г. Изд. № 14.
Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,82.
А 00640. Цена 6 коп. Тираж 54 000 экз. Заказ 3619.

Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

6 коп.

70067